

# Włókna inteligentne w kryminalistyce

mł. insp. dr Katarzyna Razarenkow<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centralne Laboratorium Kryminalistyczne Policji, katarzyna.razarenkow@policja.gov.pl

---

## Streszczenie:

W publikacji pod tytułem *Włókna inteligentne w kryminalistyce* zawarte są informacje dotyczące nowoczesnych wyrobów włókienniczych, takich jak tkaniny inteligentne, oraz powiązania ich z odzieżą specjalnego przeznaczenia np. odzieżą militarną czy medyczną. Jak podaje literatura, w tego typu odzieży dość często stosowane są specjalistyczne modyfikacje nadające tkaninom szczególnych właściwości np. antyseptycznych tj. bakterio- i grzybobójczych. Niniejsza publikacja przedstawia główne zastosowania modyfikowanych włókien oraz ciekawe obszary tej dziedziny, które w przyszłości mogą stanowić prawdziwe wyzwanie w pracy biegłych zajmujących się analizą kryminalistyczną tekstyliów. Z racji tego, że populacja włókien „inteligentnych” o szczególnym przeznaczeniu jest dość rzadka, to zabezpieczony materiał dowodowy na miejscu zdarzenia przestępczego może okazać się bardzo mocnym dowodem materialnym w sprawie, co wydaje się być szczególnie istotne dla gromadzących i analizujących zebrany materiał badawczy.

**Słowa kluczowe:** tekstylia, włókno, modyfikacje włókien, bioaktywność, bakteriobójczość, tkaniny inteligentne, odzież medyczna, odzież militarna; kryminalistyka

---

## Wprowadzenie

Na podstawie dostępnych informacji literaturowych wiadomym jest, że przemysł włókienniczy nadal się prężnie rozwija. Na całym świecie prowadzone są liczne badania nad znalezieniem nowych, wydajnych i tanich sposobów produkcji „inteligentnych” wyrobów włókienniczych np. tkanin bioaktywnych lub nieszkodliwych dla środowiska. Niuanse produkcji i szczegóły modyfikacji wyrobów włókienniczych, np. materiałów bioaktywnych, dla zwykłego użytkownika/konsumenta są niedostępne i stanowią pilnie strzeżone tajemnice, niemniej jednak dane wskazują jednoznacznie, że w niedalekiej przyszłości przemysł odzieżowy będzie zmierzał w kierunku uzyskania coraz lepszych właściwości tkanin i dzianin, z uwzględnieniem cech dotąd nieznanych np. właściwości bioaktywnych lub grafiki trójwymiarowej, a co za tym idzie będzie prawdziwym wyzwaniem w badaniach kryminalistycznych mikrośladów w postaci fragmentarycznych, zmodyfikowanych włókien tekstylnych.

Celem artykułu jest poszerzenie wiedzy na podstawie najnowszych danych literaturowych dotyczących tzw. inteligentnych włókien, opierając się na zmieniających się trendach technologicznych, jak również powiązanie ich z konkretną odzieżą specjalnego przeznaczenia np. odzieżą militarną lub medyczną. Sukces

analizy mikrośladów o potencjalnej wartości dowodowej zależy w bardzo dużym stopniu od prawidłowego wykrycia i zabezpieczenia ich na miejscu zdarzenia w trakcie przeprowadzonych oględzin kryminalistycznych, a więc czynności procesowo-kryminalistycznych zdefiniowanych w Kodeksie Postępowania Karnego (k.p.k.) zgodnie z art. 207 § 1 i art. 209, ale również od wiedzy samych biegłych opiniujących badania z zakresu analizy mikrośladów. W związku z tym świadomość postępujących zmian i rozwoju technologicznego wyrobów tekstylnych jest konieczna w prowadzonych badaniach kryminalistycznych. Wiemy, że niejednokrotnie materiał dowodowy analizowany jest dopiero po upływie dłuższego czasu od zdarzenia przestępczego np. w przypadku pojawienia się nowych okoliczności w sprawie, po wielu latach, w ramach tzw. Archiwum X. Wyniki analizy włókien o znaczącej wartości dowodowej spełniają szczególnie ważną rolę zwłaszcza w przestępstwach przeciwko zdrowiu i życiu i są podstawą ustaleń, choćby w kwestii *modus operandi* w znaczeniu karno-materialnym, a więc sposobu działania i wykrycia sprawcy. Stanowią również dowód poszlakowy, pomocny w zrozumieniu zachowania sprawcy lub często odzwierciedlają jego cechy indywidualne i wielokrotnie przyczyniają się do wskazania jednoznacznej odpowiedzi, rozstrzygającej

wątpliwości na potrzeby organów ścigania czy też wymiaru sprawiedliwości.

### Nowoczesne wyroby tkackie – tkaniny inteligentne

Biorąc pod uwagę rutynowe badania mikrośladów wykonywane w policyjnych laboratoriach kryminalistycznych, stosownym jest poświęcić chwilę uwagi tematyce dotyczącej włókien i tekstyliów nowej generacji, nazywanych „inteligentnymi”. Czym są zatem inteligentne wyroby włókiennicze?

Obszerna literatura przedmiotu najczęściej przytacza definicję w myśl której tkanina inteligentna to materiał, który zmienia swoje właściwości w kontrolowany sposób pod wpływem czynników zewnętrznych. Materiał taki posiada cechy sensora, procesora i urządzenia wykonawczego. Co do zasady układy te reagują na czynniki zewnętrzne, takie jak: ciepło, światło, nacisk i zmiany chemiczne poprzez zmianę kształtu, koloru, rozmiaru, stanu skupienia, pochłanianie energii słonecznej, przewodzenie prądu i światła oraz przetwarzanie danych. W inteligentnych tekstyliach muszą występować trzy komponenty, tj. czujniki, siłowniki i jednostki sterujące. Na przykład za pracę czujników odpowiada system odpowiedzialny za detekcję sygnałów. Niektóre z materiałów działają tylko jako czujniki, podczas gdy inne jako czujniki i siłowniki. Inteligentne tkaniny to połączenie tekstyliów i elektroniki. Zmodyfikowany materiał tekstylny i zminiaturyzowane urządzenia elektroniczne tworzą inteligentny wyrób włókienniczy, zwykle tkaninę. Ubrania wykonane z tego typu tkanin pełnią specjalną funkcję w różnych sytuacjach życiowych człowieka, zależnie od projektu i zastosowania. Wytwarzanie inteligentnych wyrobów włókienniczych jest obecnie jedną z najintensywniej rozwijających się gałęzi w światowym przemyśle, zarówno włókienniczym, jaki i tekstylnym<sup>1</sup> (Syduzzaman i in., 2015).

### Surowce wykorzystane do produkcji tkanin inteligentnych

Tworzywa z naszego otoczenia są „intelektualizowane”, a zatem ich sfunkcjonalizowanie wymagało zastosowania i połączenia nawet kilkunastu różnych składowych, przy czym dzisiejsza technologia umożliwia uzyskanie tej samej funkcjonalności, znacznie ograniczając ich ilość. Takie materiały mogą np. oddziaływać, komunikować się i „wyczuwać”. Miniaturyzacja oznacza nie tylko produkcję mniejszych elementów, ale także eliminację poszczególnych składników. Mechanizmy, które wcześniej musiały być wytwarzane

poprzez łączenie różnych materiałów, dziś mogą być wykonane z jednego i tego samego komponentu. Przykładem takiego ograniczenia liczby składników i stosowanych materiałów jest np. złożony system czujników, z piezoelektrycznej folii i mechanicznej klawiatury, wymieniony na specjalną membranę. Obecnie często stosowane są też przewodzące nici metalowe, takie jak przędza tekstylna ze srebra, stali nierdzewnej, włókien węglowych o właściwościach elektrycznych. Nici powlekane polimerami, przędzą, gumą i tuszem mogą zaś pełnić funkcję czujników lub znajdując zastosowanie jako podłoże łączące. Czyste przędze metaliczne mogą być wykonane z kompozytowej stali nierdzewnej lub drobnego, ciągłego, przewodzącego stopu metalu.

Wyróżnia się następujące rodzaje połączeń włókien z materiałami przewodzącymi:

- włókna wypełnione materiałem przewodzącym (np. cząstkami węgla lub metalu),
- włókna powleczone przewodzącymi polimerami lub metalem,
- włókna przędzone cienkimi metalicznymi lub polimerowymi nitkami przewodzącymi.

Do produkcji czujników tkaninowych stosuje się najczęściej metaliczny jedwab, organzę, włókno ze stali nierdzewnej, włókno aramidowe pokryte metalem, włókno polimerowe przewodzące, powłokę polimerową i specjalne włókno węglowe. Włókna metalowe, światłowodowe i przewodzące polimery mogą być zintegrowane z tekstylną strukturą, zapewniając w ten sposób wysokie przewodnictwo elektryczne, zdolność detekcji i transmisji danych. Organiczne polimery mogą zastąpić nieorganiczne kryształy np. krzemu. Materiały te są zwykle lekkie, elastyczne, sprężyste, wykazują ciekawe właściwości mechaniczne, a jednocześnie są niedrogie i łatwe w obróbce<sup>2</sup>. Nici metalowe zaś składają się głównie z niezwykle cienkich włókien metalowych. Zazwyczaj są wytwarzane metodą wyciągania wiązki metalicznej, albo odcina się je od krawędzi cienkiej blachy metalowej. Nici i przędze metalowe mogą być dziane lub tkane w tkaninie i stosowane do tworzenia połączeń między komponentami, podczas gdy metale, zapewniające wysokie przewodnictwo, są mniej kompatybilne i trudno integrują się z odzieżą. Nici metalowe są zwykle cięższe niż większość włókien tekstylnych, a ich kruchość może z czasem wpływać na uszkodzenia maszyn wirujących, ponadto mogą powodować dyskomfort użytkownika z powodu swojej nadmiernej tendencji do ścierania i rozwarstwiania się.

<sup>1</sup> <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.

<sup>2</sup> <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.



Ryc. 1. Przędze metalowe

Kolejną nowością w przemyśle włókienniczym są zapewne włókna Angelina, które powstają na bazie poliestru, z dodatkiem różnych metali, takich jak: miedź, aluminium czy srebro. Włókna te wyróżniają się intensywnym połyskiem i kolorem, a także efektem holograficznym. Łatwo przepuszczają powietrze i łączą się z innymi włóknami, poza tym są miękkie i bardzo wytrzymałe, antystatyczne, przewodzą prąd i tworzą osłonę elektromagnetyczną<sup>3</sup>.



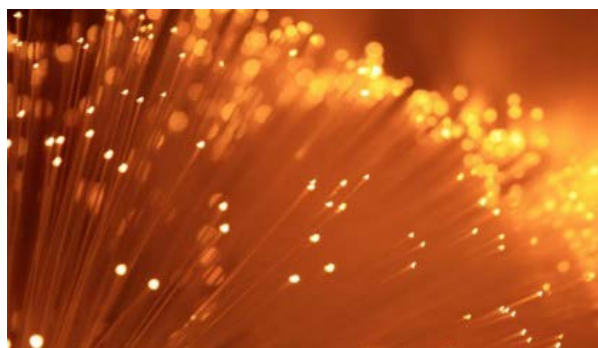
Ryc. 2. Włókna Angelina: optyczne i techniczne oraz termotopliwe



Ryc. 3. Włókna Angelina: optyczne i techniczne oraz termotopliwe

<sup>3</sup> <https://meadowbrookglitter.com/angelina-fiber>.

Z kolei włókna optyczne pochodzące z tworzywa sztucznego można łatwo zintegrować z materiałem tekstylnym. Mają tę zaletę, że nie generują ciepła i są niewrażliwe na promieniowanie elektromagnetyczne. Włókna światłowodowe mogą pełnić wiele funkcji w „inteligentnym ubraniu”: przesyłać sygnały danych, transmitować światło niezbędne do optycznej detekcji, wykrywać odkształcenia w tkaninach wynikające z naprężeń oraz reagować na substancje chemiczne. Polimerowe włókna optyczne można wpleść w materiał tekstylny, jednak nie są one elastyczne i w związku z tym łatwo ulegają trwałym uszkodzeniom np. zgięciu, co może prowadzić do mechanicznych uszkodzeń i w efekcie do utraty sygnału<sup>4</sup>.



Ryc. 4. Włókna optyczne

#### Tkaniny elektroniczne

E-tekstyny, czyli tkaniny elektroniczne, należą do innowacyjnych tkanin inteligentnych, które również cieszą się dużym zainteresowaniem użytkowników. Materiały te przewodzą prąd elektryczny dzięki odpowiedniej modyfikacji powierzchni oraz doskonale sprawdzają się jako przekaźniki danych. Dane rejestrowane są i przekazywane dzięki przewodzącym ścieżkom, diodom, detektorom oraz systemom elektronicznym, które reagują na zmiany fizykochemiczne środowiska wokół tkaniny. Za sprawą nanoelektroniki sensory zintegrowane z tkaniną są praktycznie niewidoczne i niewyczuwalne. E-tekstylia można podzielić na dwie główne kategorie:

- E-tekstylia z klasycznymi urządzeniami elektronicznymi, takimi jak przewodniki, układy scalone, diody LED, diody OLED i konwencjonalne baterie wbudowane w odzież,
- E-tekstylia z elektroniką zintegrowaną bezpośrednio z podłożami tekstylnymi. Mogą obejmować pasywną elektronikę, np. przewody i rezystory lub aktywne elementy, takie jak tranzystory, diody i ogniwa słoneczne.

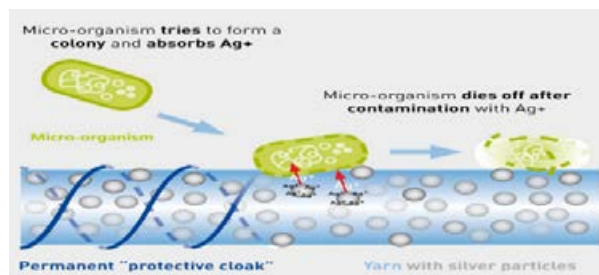
<sup>4</sup> <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.

Większość e-tekstylnych materiałów to hybrydy, w których elementy elektroniczne wbudowane w tekstyla są połączone z klasycznymi urządzeniami elektronicznymi lub ich komponentami. Przykładowo przyciski dotykowe są skonstruowane całkowicie w postaci tekstylnej z przewodzących, tekstylnych splotów, które połączone są z urządzeniami, odtwarzaczami muzycznymi lub diodami LED, montowanymi na plecionych, światłowodowych sieciach tworzących konstrukcję wyświetlaczy. Warto przywołać twierdzenie Paillesa-Friedmana z Instytutu Pratta, który mówił, że „to, co sprawia, że inteligentne tkaniny są rewolucyjne to fakt, że mają zdolność spełniania wielu funkcji, których tradycyjne tkaniny nie potrafią, a więc: komunikacji, transformacji, przewodzenia energii, a nawet wzrostu”<sup>5</sup> (Grenda, 2016).

### Nanotechnologia w tkaninach

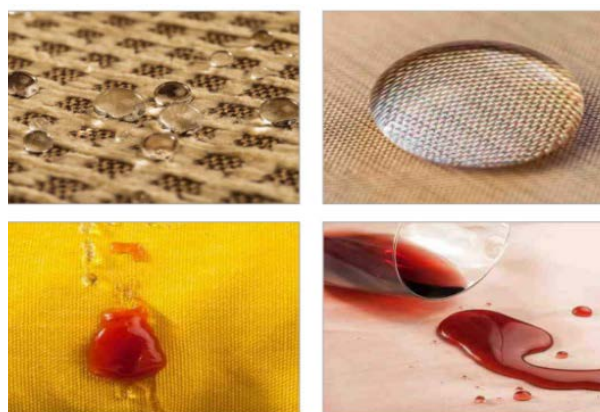
W przemyśle tekstylnym coraz częściej stosowane są powłoki z nanocząsteczek z uwagi na ich liczne zalety, do których bez wątpienia zalicza się podwyższoną wydajność i funkcjonalność tekstyliów. Standardowe metody dodawania do tkanin różnych substancji zmieniających określone właściwości włókien dają efekty, które zazwyczaj po wielokrotnym praniu i długim czasie eksploatacji z czasem słabną lub całkowicie znikają. Dzięki zastosowaniu nanotechnologii można jednak osiągnąć unikalne cechy specjalne i uzyskać tkaniny o wysokiej trwałości. Wynika to z dużego stosunku powierzchni do objętości i wysokiej energii powierzchniowej nanocząsteczek. Powlekanie za pomocą nanocząsteczek może ulepszyć właściwości antybakteryjne tekstyliów, ich wodoodporność, zapewnić ochronę przed promieniowaniem UV i samooczyszczanie, przy jednoczesnym zachowaniu właściwości oddychających i dotykowych materiału tekstylnego. Nano-Tex jest technologią poprawiającą właściwości tkaniny na poziomie molekularnym. Powoduje, że tkanina jest odporna na wchłanianie wilgoci, przywieranie zanieczyszczeń, neutralizuje ładunki elektrostatyczne. Technologia ta umożliwia również uzyskanie tkanin samooczyszczających się. Jednocześnie materiał ten zachowuje naturalną miękkość, dając poczucie komfortu. Jest trwalszy i bardziej praktyczny, a włókna swobodnie oddychają. Dzięki odporności na zabrudzenia tkanina ma ładny wygląd i długą żywotność. Inspiracją do stworzenia Nano-Tex był proces oczyszczania się liści niektórych roślin, do których brud zwyczajnie nie przylega lub jest z łatwością usuwany wraz z deszczem. Dzięki wykorzystaniu nanotechnologii tkanina ma zdolność

neutralizowania ładunków elektrostatycznych. Nano-Tex eliminuje oddziaływania elektrostatyczne z powierzchni tkaniny, a tym samym nie przyciąga kurzu i brudu oraz podwyższa komfort użytkowania. Tkanina zachowuje swój wygląd, elastyczność i przepuszczalność powietrza (Syduzzaman i in., 2015).

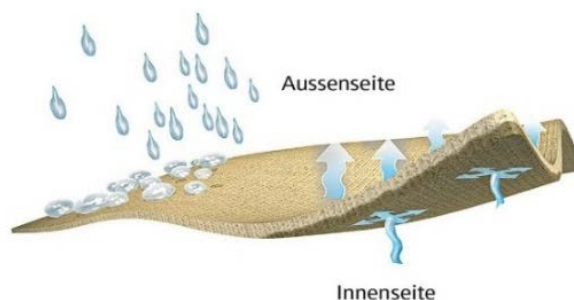


Ryc. 5. Schemat działania tkaniny Nano-Tex

Przykładem wykorzystania nanotechnologii jest tkanina C\_change – bioniczna membrana klimatyczna. Jest to membrana wiatro- i wodoodporna, która reaguje na zmiany temperatury i aktywność. W zależności od sytuacji przepuszczalność powietrza lub zatrzymywanie ciepła wzrasta albo zmniejsza się, przez co tkanina zawsze zapewnia komfort użytkowania. Naśladuje ona sposób, w jaki szyszka jodły reaguje na zmieniające się warunki atmosferyczne, zamykając się lub otwierając (Grenda, 2016).



Ryc. 6. Tkaniny samooczyszczające się



Ryc. 7. Działanie tkaniny z technologią komfortu

<sup>5</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile> i s. 2019.

Cechą charakterystyczną tkaniny 3XDRI<sup>®</sup> jest odpychanie wody i brudu na zewnętrznej stronie materiału i pochłanianie wilgoci od wewnątrz. Ubrania wykonane z tej tkaniny zapewniają chłodzący efekt i utrzymują powierzchnię skóry suchą, dzięki czemu minimalizują pojawianie się widocznych na ubraniu plam potu (Grenda, 2016).

Ciemne kolory nagrzewają się szybciej przy bezpośredniej ekspozycji na słońce niż te jasne, ponieważ pochłaniają zarówno widoczne, jak i niewidoczne wiązki promieni świetlnych. Coldblack<sup>®</sup> to technologia wykańczania tkanin, która zmniejsza efekt nagrzewania się ciemnych kolorów. Tkanina ta pozostaje chłodna w dotyku nawet w pełnym słońcu oraz zapewnia ochronę przeciw promieniowaniu ultrafioletowemu.



Ryc. 8. Tkanina Coldblack

### Tkaniny z pamięcią kształtu

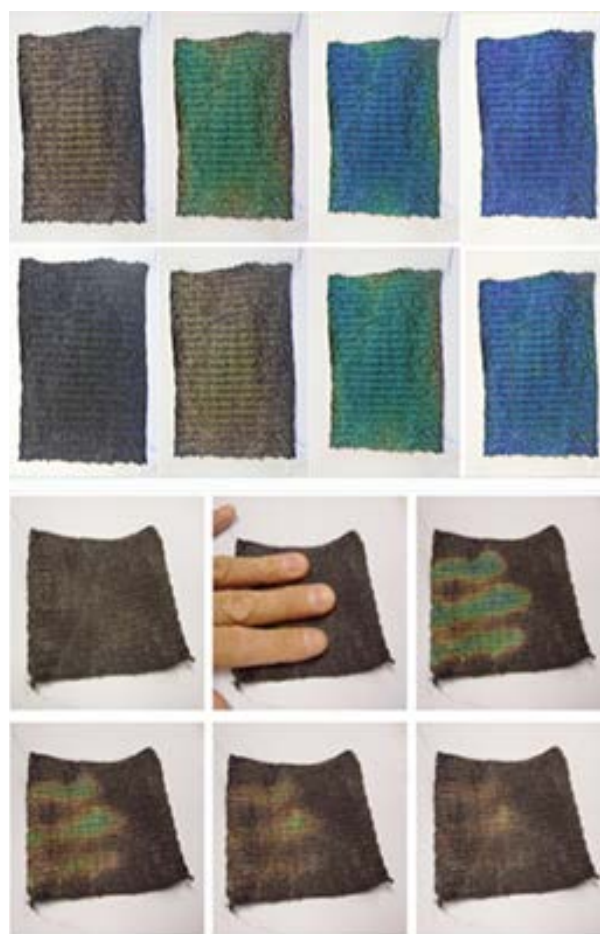
Prawdziwą rewolucję wywołały materiały SMM (Shape Memory Materials) zdolne do zmiany kształtu, rozmiaru lub wewnętrznej struktury pod wpływem określonego bodźca, np. zmiany temperatury, wilgotności względnej, pH, wpływu pola elektrycznego, magnetycznego, promieniowania czy też działania substancji chemicznej. Podczas aktywacji SMM (przy określonej temperaturze aktywacji) zwiększają się szczeliny powietrzne pomiędzy bliskimi warstwami odzieży. Ma to zapewnić lepszą izolację i ochronę przed ekstremalnymi temperaturami i zimnem. W odzieży temperatura aktywowanego efektu pamięci kształtu powinna być zbliżona do temperatury ciała. Istnieją termoplastyczne folie poliuretanowe, które można wkładać pomiędzy warstwy odzieży. Kiedy temperatura zewnętrznej warstwy ubrania spadnie wystarczająco, folia reaguje tak, że szczelina powietrzna między warstwami odzieży staje się szersza. To pozapłaszczynowe odkształcenie musi być wystarczająco mocne, aby wytrzymać ciężar ubrania i ruchy użytkownika. Jeśli zewnętrzna warstwa ubrania staje się cieplejsza, odkształcenie należy odwrócić. Niektóre stopy metali są zdolne do dwukierunkowej aktywacji, wywołanej zmienną pogodą

i zmienną aktywnością fizyczną<sup>6</sup>. Holenderska projektantka Mariëlle Leenders jest autorką tkanin Moving Textiles. Dzięki drutom z Nitinolu wplecionym w strukturę, tkanina kurczy się i rozciąga. Tkaniny te rozwijają się automatycznie podczas ekspozycji na ciepłe światło dzienne i zwijają się, kiedy temperatura spada (Grenda, 2016).



Ryc. 9. Tkaniny Moving Textiles

### Tkaniny zmieniające kolor



Ryc. 10. Fabcell – tkanina elektrochromowa

Tkaniny zmieniające kolor, tzw. kameleon, dają bardzo duże możliwości tworzenia niezwykle interesujących

<sup>6</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile> i s. 2019.

efektów wizualnych, stąd stanowią fascynujące pole do popisu dla projektantów światowej mody. Zmiana kolorów tych wyrobów następuje pod wpływem temperatury otoczenia, światła czy prądu elektrycznego. Przykładowo tkaniny elektrochromowe zmieniają kolor pod wpływem napięcia elektrycznego, termochromowe pod wpływem temperatury, a tkaniny fotochromowe pod wpływem światła słonecznego lub ultrafioletowego. Ostatnimi czasy przebojem rynkowym jest Fabcell moduł tekstylny charakteryzujący się niezwykłą elastycznością, a przy tym nie emituje światła i jest wielokolorowy. Włókna tego modułu są barwione tuszem ciekłokrystalicznym, a przędze przewodzące połączone z elementami elektronicznymi wplecione w kwadratową tkaninę. Przy zwiększaniu napięcia wzrasta temperatura tkaniny, zmieniając jej kolor. Kwadratowe elementy tkaniny mogą być łączone ze sobą, tworząc pikselową mozaikę. Użytkownik może także przypisać kolor każdej z tkanin, kontrolując kolor, programując mikrokontrolery. System pozwala użytkownikowi łatwo konstruować i rekonstruować odzież, bez zbędnych ingerencji<sup>7</sup> (Grenda, 2016).

Projektantka Linda Worbin przeprowadziła wiele badań w kierunku stworzenia innowacyjnych tkanin inteligentnych, do których zaliczyć można tkaniny: Tic Tac, Textiles i Rather Boring Table Cloth zadrukowane tuszami termochromowymi oraz konwencjonalnymi, dzięki którym pojawiają się różne wzory na ich powierzchni pod wpływem np. wysokiej temperatury. Barwniki termochromowe tworzące warstwę zewnętrzną po podgrzaniu do temperatury ok. 30° stają się przezroczyste, ujawniając wzór nadrukowany tradycyjnymi pigmentami (Grenda, 2016).



Ryc. 11. Tkanina termochromowa

Algaemy to projekt badający potencjał mikroalg jako pigmentu stosowanego w druku tkanin, składają się z żywego, samodzielnie zebranego materiału. Rezultatem współpracy badawczej między Blond & Bieber, a Instytutem Fraunhofera w zakresie międzyfazowej inżynierii i biotechnologii (IGB) jest projekt oparty na mikroalgach, opracowany w celu tworzenia przyjaznych dla środowiska tkanin. Kolory te nie są

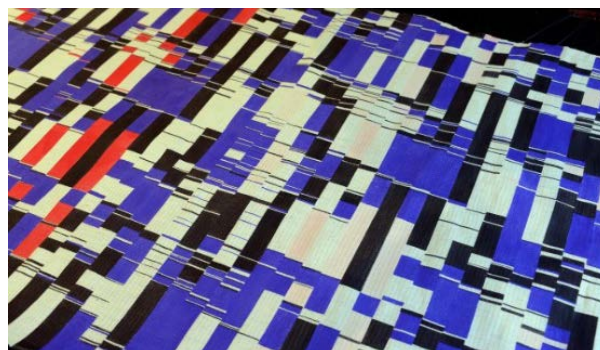
<sup>7</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile> i s. 2019.

odporne na działanie światła, więc zmieniają się w czasie, w przeciwieństwie do powszechnych barwników chemicznych. N kolor zielony staje się intensywnie niebieski, a jasnoróżowy zmienia się na jasnoczerwony a następnie pomarańczowy. Tym sposobem tekstylia przekazują swoją historię opartą na ekspozycji i użytkowaniu (Grenda, 2016).



Ryc. 12. Tkanina Algaemy - fotochromowa

Chromosonic to programowalny interfejs tekstylny, zmieniający swój kolor i wzór. Odbarwienie materiału reagującego na ciepło zmienia się dynamicznie w reakcji na przetworzone pliki dźwiękowe, które ulegają przemianie w energię cieplną, a także poprzez bezpośredni kontakt z ciepłem rąk użytkowników. Chromosonic bada, w jaki sposób świat mediów cyfrowych staje się namacalny poprzez tekstylia. Powoli zmieniająca się tkanina reaguje na otaczające środowisko impulsy i bezpośrednią interakcję użytkownika, pokazując, że cyfrowe interfejsy nie muszą być definiowane wyłącznie przez podświetlane, szklane płaszczyzny<sup>8</sup>.



Ryc. 13. Tkanina Chromosonic

### Tkaniny emitujące światło

Do tkanin emitujących światło należą m.in. tkaniny elektroluminescencyjne oraz tkaniny fotoluminescencyjne. Luminescencja odnosi się do promieniowania optycznego wywołanego napięciem elektrycznym – w przypadku elektroluminescencji oraz ekspozycją

<sup>8</sup> Transmaterial.net.

świetlną – w przypadku fotoluminescencji. Technologia ta pozwala na uzyskanie całych powierzchni świecących jednolitym światłem. Materiały luminescencyjne emitują zimne światło, przekształcając energię praktycznie bez żadnych strat, przez co są wydajne. Bazę technologii elektroluminescencji stanowią diody elektroluminescencyjne (LED), organiczne diody elektroluminescencyjne (OLED) i folie elektroluminescencyjne. Powierzchnie fotoluminescencyjne świecą dzięki ekspozycji świetlnej. W kategorii materiałów fotoluminescencyjnych wyróżnia się fluorescencyjne i fosforescencyjne materiały. W przypadku fluorescencji efekt świecenia zanika wraz z zanikiem źródła światła zewnętrznego, natomiast materiały fosforescencyjne świecą jeszcze przez wiele godzin (Grenda, 2016).



Ryc. 14. Tkanina fotoluminescencyjna

### Zastosowanie inteligentnych tkanin

#### Opieka zdrowotna

Inteligentna odzież, którą można nosić podczas codziennych czynności, umożliwia ciągłe monitorowanie sygnałów fizjologicznych. To ciekawy sposób na ograniczenie wizyt lekarskich. Odzież ta może pełnić istotną rolę w zdalnym monitorowaniu pacjentów przewlekle chorych lub poddawanych rehabilitacji. Promuje także koncepcję profilaktycznej opieki zdrowotnej. Biorąc pod uwagę obecną sytuację demograficzną na świecie, widoczna jest potrzeba przesunięcia punktu ciężkości świadczenia opieki zdrowotnej z leczenia na profilaktykę, a także promowania i monitorowania stanu zdrowia, a nie diagnozowania choroby. SFIT służy do osobistego monitorowania zdrowia i obejmuje głównie monitorowanie elektrokardiogramu i oddychania (oraz dostęp do innych parametrów fizjologicznych i fizycznych w zależności od docelowych zastosowań) poprzez zastosowanie czujników i elektrod tkaninowych. Przykłady zastosowania SFIT to:

- odzież z wbudowanym czujnikiem tekstylnym umożliwiającą ciągłe monitorowanie EKG, oddychania, EMG i aktywności fizycznej. Inteligentna tkanina obejmuje czujnik odkształcenia tkaniny oparty

na piezoelektrycznych włóknach rezystancyjnych i elektrodach tkaninowych wykonanych z przędzy metalowej;

- kamizelka zawierająca w pełni tkane tekstylne czujniki do rozpoznawania EKG i częstotliwości oddechowej oraz przenośną elektroniczną kartę do oceny ruchu, wstępnego przetwarzania sygnału i połączenia Bluetooth do transmisji danych;
- poręczny, wrażliwy ubiór, który mierzy rytm serca człowieka i oddychanie za pomocą trójprzewodowej koszulki EKG. Przewodząca siatka światłowodowa i czujniki są w pełni zintegrowane w odzież (np. koszulka *smart shirt*)<sup>9</sup>.



Ryc. 15. Smart shirt

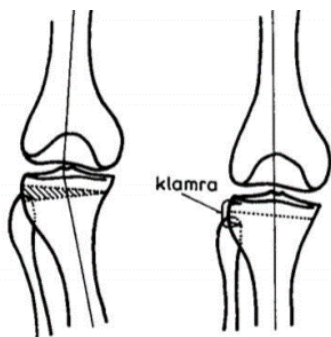
Pas ratunkowy (*life belt*) jest urządzeniem przeznaczonym do noszenia przez kobiety ciężarne, i służy do długotrwałego monitorowania stanu zdrowia płodu oraz jego matki. Pas życia przyczynia się do zmniejszenia obciążenia i zwiększenia wydajności szpitali oraz jakości świadczonych usług, ponadto dzięki zdalnemu monitorowaniu pacjenta wspomaga pracę lekarzy ginekologów, a także alarmuje podczas pojawiających się odstępstw i anomalii np. tętna płodu.



Ryc. 16. Kurtka życia

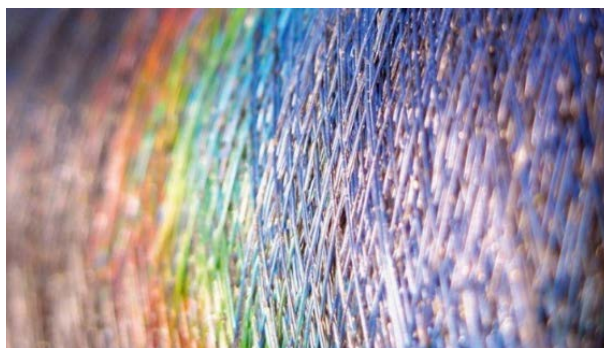
<sup>9</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile>.

Kurtka życia (*life jacket*) to z kolei urządzenie medyczne noszone przez pacjentów, które odczytuje ciśnienie krwi lub monitoruje częstotliwość akcji serca. Informacje są przesyłane zdalnie poprzez komputer i na bieżąco kontrolowane przez wykwalifikowany w tym celu personel medyczny.



Ryc. 17. Klamry do osteosyntezy

Klamry do osteosyntezy z pamięcią kształtu znajdują zastosowanie wszędzie tam, gdzie osteosyntezę przeprowadza się przy pomocy klamer Blounta, wykonanych z tradycyjnego metalu implantacyjnego. Zaletą klamer z pamięcią kształtu w porównaniu do tradycyjnych klamer Blounta jest możliwość uzyskania ścisłego i mocnego połączenia złamanych kości. Umożliwia to szybki i pewny przebieg leczenia, zwłaszcza skomplikowanych złamań i urazów kostnych.



Ryc. 18. Inteligentny bandaż

Inteligentny bandaż poprawia natomiast kontrolę nad raną poprzez komunikowanie problemów w trakcie jej gojenia np. na skutek pojawiającej się infekcji. Opracowane przez Australijską Wspólnotę Naukowo-Przemysłową opatrunki składają się głównie z włókien z wewnętrzną warstwą sensoryczną, ciekłokrystalicznego termochromu. Po podświetleniu białym światłem tkanina bandaża mieni się w różnych kolorach, z uwagi na odbite światło kryształów, zwiększając tym samym kontrast rdzenia poszczególnych włókien. Gradient koloru włókna działa w zakresie od 25°C do 45°C, natomiast barwa zmienia się już przy wahaniach

temperatury nawet o 0,5°C. Bandaż może zatem wskazywać na pojawiający się rozwój infekcji, ułatwić jej diagnozę i umożliwić jej szybkie leczenie ograniczając inne zbędne działania<sup>10</sup> (Grenda, 2016).

### Higiena i komfort

Naukowcy z Philadelphia University opracowali włókna i materiały trwale nasączone zapachami, które wykorzystywane są do produkcji pachnących koców, pościeli lub bezwonnych strojów gimnastycznych. Zespół badawczy skoncentrował się na rozwiązaniach dla sportowców, jednak koncepcje mogą być z powodzeniem wdrażane w odniesieniu do tkanin wykorzystywanych np. w zastosowaniach militarnych. Technologia opracowana przez naukowców z amerykańskich sił powietrznych została już wykorzystana do produkcji koszulek i bielizny, które bez konieczności prania pozostają higieniczne przez kilka tygodni, dzięki podczepieniu nanocząsteczek do struktury włókien za pomocą mikrofal. Związane z nanocząsteczkami związki chemiczne mogą odpychać wodę, tłuszcze i bakterie. Tego typu pokrycie działa antybakteryjnie i wymusza proces skraplania i spływania cieczy po powierzchni. Z myślą o osobach walczących ze złymi nawykami żywieniowymi specjaliści z Fuji Spinning Company prowadzili badania nad tkaninami zawierającymi wybrane witaminy. Taka odzież sprawia, że organizm wchłania codzienne zapotrzebowanie na daną witaminę nawet po kilkudziesięciu praniach. Opracowano również koszulkę mierzącą poziom promieniowania UV i w przypadkach niedoboru witaminy E w skórze uzupełniania jej wraz z jednoczesnym aplikowaniem enzymów chroniących skórę przed starzeniem. Dla osób aktywnych sportowo, zwłaszcza zimą lub w trakcie gorącego lata, np. dla kolarzy, dobrym rozwiązaniem są aktywne ubrania termoochronne. Różne struktury dzianiny dopasowane do układu mięśni zapewniają właściwy mikroklimat, uwalniają wilgoć, a tym samym dają przyjemne uczucie świeżości (Goss & Szubska, 2009).

### Militaria

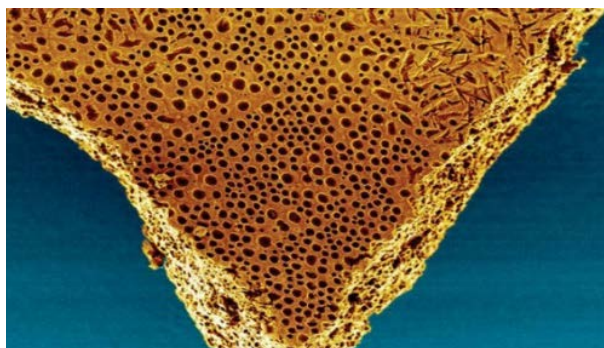
W ekstremalnych warunkach środowiskowych i niebezpiecznych sytuacjach istnieje zapotrzebowanie na technologię informacyjną funkcjonującą w czasie rzeczywistym, która ma na celu zwiększenie ochrony i zdolności przetrwania osób narażonych. Nowelizacje w zakresie wydajności i dodatkowych możliwości tkanin znalazły zastosowanie zwłaszcza w zawodach związanych z siłami obronnymi i służbami ratowniczymi. Wymagania dotyczące wymienionych grup

<sup>10</sup> <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.



zawodowych związane są np. z monitorowaniem parametrów życiowych lub łagodzeniem urazów, a także kontrolowaniem na bieżąco zagrożeń środowiskowych, takich jak np. środowisko toksycznych gazów. Bezprzewodowa komunikacja z jednostką centralną pozwala np. medykom prowadzić zdalną koordynację jednostek ZRM w terenie i wymianę informacji w sposób niezwykle szybki, co umożliwia skuteczną i bezpieczną pracę ratowników, zwłaszcza w sytuacjach i warunkach szczególnie utrudnionych, ekstremalnych, dynamicznych bądź nietypowych<sup>11</sup>.

Odporna na parę wodną sztuczna skóra Self-Flexing Membrane to przykład innowacyjnej, syntetycznej skóry opracowanej przez naukowców z Instytutu Kolloidów i Interfejsów Maxa Plancka. Zastosowana w tej skórze membrana jest wyjątkowo wrażliwa na opary rozpuszczalników i szybko ulega zwijaniu się w obecności acetonu i innych rozpuszczalników organicznych. Jej reaktywna folia ma dodatkową, warstwową funkcjonalność: w kontakcie z chemikaliami jej górna powierzchnia (perforowana małymi porami) usztywnia się w momencie, gdy dolne warstwy pozostają miękkie, co umożliwia kierunkowe zwijanie się membrany, a tym samym szybkie wykrywanie oparów. Membrana samouszczelniająca charakteryzuje się szybszym czasem reakcji niż inne znane siłowniki i stosowana jest w czujnikach, a także w sztucznej mechanicznej skórze i muskulaturze (Grenda, 2016).



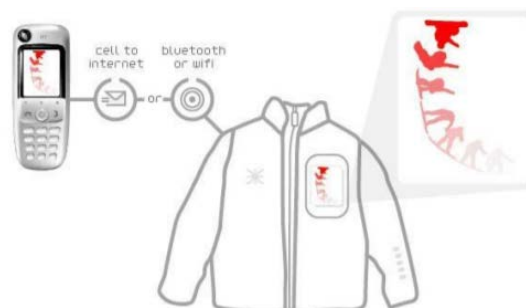
Ryc. 19. Self-Flexing Membrane

Zetix to materiał auksetyczny (tendencja do zmiany rozmiarów materiału), który jest tak trwały mechanicznie, że absorbuje i rozprasza energię z wybuchów, bez zrywania. Zetix łączy w sobie drogie, wysokowydajne materiały z tańszymi komponentami masowymi w stosunku od 1 do 100, uwydatniając w szczególności właściwości wysokowydajnych materiałów odpornych na uderzenia. Preparat Zetix stosuje się w wielu produktach, w tym w zbrojach, pasach bezpieczeństwa,

oknach, wojskowych namiotach, zabezpieczeniach przed huraganem, niciach dentystycznych oraz w szwach medycznych, które nie uszkodzają tkanki ciała (Syduzzaman i in., 2015).

### Odzież sportowa

Miłośnicy sportu mogą korzystać ze zintegrowanych czujników tkanin i paneli wyświetlaczy, które monitorują tętno i ciśnienie krwi podczas treningu w siłowni lub porannego joggingu i są w stanie analizować informacje na temat wydajności oraz korzystać z muzyki poprawiającej nastrój czy wydajność organizmu. Niektóre ubrania sportowe wykorzystywane do wyścigów samochodowych i motocyklowych, a także kombinezony astronautów, zawierają zintegrowane komponenty elektroniczne<sup>12</sup>.



Ryc. 20. Inteligentna kurtka snowboardowa

Heartbeat Hoodie to kaptur z wbudowanym aparatem fotograficznym, który pozwala automatycznie zarejestrować najważniejsze wydarzenia dnia. Aparat jest sterowany czujnikiem mierzącym tętno oraz poziom emocji, a w przypadku stanu podekscytowania podczas użytkowania i przyspieszonego bicia serca automatycznie wykonywane są zdjęcia. W ten sposób aparat samodzielnie rozpoznaje i rejestruje najbardziej emocjonujące momenty osoby noszącej kurtkę snowboardową.



Ryc. 21. Rękawica Phony Glove16

<sup>11</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile> i s. 2019.

<sup>12</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile> i s. 2019.

The Phony Glove, czyli rękawica z wbudowanym he- adsetem, pozwala rozmawiać przez telefon komórkowy bez konieczności trzymania go w rękę. Co ciekawe, mikrofon wmontowany jest w mały palec the Phony Glove, a słuchawka w kciuk, rozmawia się więc, trzymając dłoń w pozycji gestu symbolizującego korzystanie z telefonu (Goss & Szubska, 2009).

Owoce współpracy firmy Nike i Apple jest technologia Nike+, która pozwala na monitorowanie na przykład spalonych kalorii przez człowieka podczas biegania oraz przetwarzanie danych, wykorzystując iPod. Pakiet zawiera sensor i odbiornik. Sensor wraz z wbudowaną baterią tworzą wodoszczelną konstrukcję. Umieszcza się go pod wkładką lewego buta z kolekcji runningowej Nike+. Odbiornik podłączony do iPod'a odbiera informacje wysyłane bezprzewodowo z sensora, a następnie przesyła je do urządzenia. Dla przykładu GPS wbudowany w buty do chodzenia umożliwia śledzenie użytkowników przez służby ratownictwa górskiego, a zainstalowany w kurtkach narciarskich pomaga w zlokalizowaniu użytkowników w przypadku zagrożeń lawinowych. Może posłużyć również do monitorowania miejsca, w którym przebywają małe dzieci. Dostępne są również rękawiczki zawierające elementy grzewcze lub wbudowane lampy emitujące światło LED, odznaczające i rozświetlające rowerzystę podczas jazdy w ciemności, powodując, że staje się dzięki nim widoczny dla innych użytkowników drogi (Goss & Szubska, 2009).

### Środowisko



Ryc. 22. Kurtka pochłaniająca zanieczyszczenia

Chlorek palladu  $PdCl_2$  jest związkiem stosowanym w detektorach tlenku węgla i do badania odporności

na korozję stali nierdzewnej. Barwny tusz zawierający sól palladu reaguje na obecność  $CO_2$  w atmosferze, ulegając odwracalnej zmianie koloru z żółtego na czarny, gdy stężenie  $CO_2$  wzrośnie powyżej pewnego poziomu. Londyńska projektantka mody Lauren Bowker opracowała barwnik z  $PdCl_2$  do zastosowań w tkaninach i stworzyła kurtkę pochłaniającą zanieczyszczenia, która informuje o obecności dwutlenku węgla. Wynalazek Bowker wpisuje się w trend rosnącej świadomości globalnych zagrożeń środowiskowych, dotyczącej nie tylko emisji gazów cieplarnianych, ale także toksyn wpływających bezpośrednio na ludzkie zdrowie, będących efektem np. biernego palenia (Syduzzaman i in., 2015).

### Drukowanie 3D

Drukowanie 3D rewolucjonizuje i w zupełności zmienia myślenie o tworzeniu produktów tekstylnych. Wysokie koszty realizacji powodują, że ta technika nie jest ogólnie dostępna, jednak warto zwrócić na nią uwagę, dzięki ogromnym możliwościom, jakie daje. Obecny poziom technologiczny umożliwia drukowanie przedmiotów z materiałów takich jak plastik, metal, drewno, ceramika, guma czy nawet czekolada. Drukowanie 3D nie jest uważane za alternatywę dla panujących technologii, ale jest nową możliwością i charakteryzuje się unikatowymi właściwościami. Możliwość posiadania dowolnych produktów, które idealnie odpowiadają naszym potrzebom, jest bardzo zachęcająca. Prognozuje się przełom w świecie dopasowanym do indywidualnych potrzeb człowieka<sup>13</sup>.



Ryc. 23. Produkty Freedom of Creation

Holenderskie studio projektowe Freedom of Creation, założone przez Janne Kyttaana i Jiri Evenhuisa w 2000 roku, jest pionierem w technice druku 3D. Tkaniny drukowane laserowo otworzyły nowe możliwości w produkcji tkanin przyszłości. Zamiast produkować tekstylia za pomocą miernika, a następnie wycinać i łączyć je, można od razu wykonywać gotowe produkty na

<sup>13</sup> <http://www.designfutures.pl/> (grudzień 2018).

miarę. Bardzo prawdopodobne jest, że w ciągu najbliższych lat każdy będzie mógł mieć w domu drukarkę 3D i drukować na niej samodzielnie projekty ściągnięte z Internetu, jednak nie przewiduje się nadawania tym materiałom szczególnych właściwości (Bilisik, 2009).

### Tkaniny 3D

Trójwymiarowe tkaniny to tekstylia, które mogą być uformowane w kształcie siatki, bez dodatkowego wzmocnienia. Tkanie 3D pozwala na produkcję tkanin o grubości do 10 cm. Trójwymiarowe struktury tkane mogą tworzyć materiały kompozytowe z frakcjami objętościowymi włókien w około 50% zarówno w jednostkach 3D, jak i w strukturach ortogonalnych 3D (Bilisik, 2009). Tkaniny trójwymiarowe mają wysoką odkształcalność, czyli mogą łatwo przyjmować kształt formy w przypadku złożonych projektów kompozytowych. Nie ma potrzeby warstwowania, ponieważ pojedyncza tkanina ma znaczną grubość, która zapewnia pełne trójwymiarowe wzmocnienie. Tkanina 3D może być formowana w różne kształty i może być wykorzystywana w zastosowaniach biologicznych do tworzenia zastępczych tkanek (Campbell, 2004). Tkaniny trójwymiarowe przyciągają uwagę coraz szerszego grona projektantów i użytkowników. Pojawienie się nowych technologii wytwarzania tkanin pozwoliło na rozwój tkanin przestrzennych. Znajdują one zastosowanie w motoryzacji, sporcie, materiałach izolacyjnych i modzie. Struktury trójwymiarowe można uzyskać za pomocą tkania, dziania, haftu czy materiałów kompozytowych (Grenda, 2016).

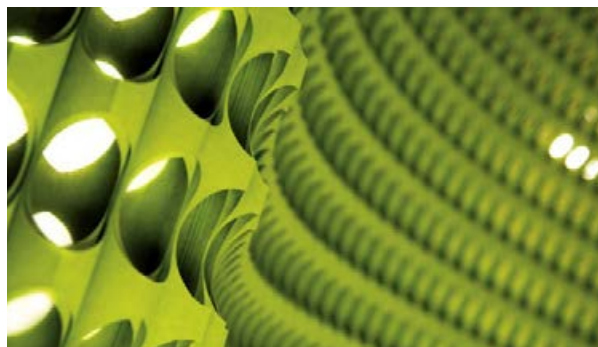


Ryc. 24. Fotel Spacer Chair

Interesująca jest tkanina dystansowa, czyli tkanina 3D składająca się z dwóch warstw tkaniny przedzielonych przeplatany elastycznymi włóknami syntetycznymi. Specjalne pionowe ułożenie tych włókien stanowi rdzeń i zapewnia znakomite rozłożenie naprężenia oraz zapewnia dobrą wentylację. Została ona wykorzystana w prototypie fotela Spacer Chair dla Droog Design. Mebel wykonany jest z włókna szklanego, nylonowej tkaniny dystansowej i żywicy

poliestrowej. W projekcie wykorzystano charakterystyczną elastyczność tkaniny dystansowej, tworząc miękką formę utwardzoną następnie żywicą. Sztywności formie nadaje także zastosowanie dwóch warstw tkaniny wykonanej w technice podwójnego tkania stosowanego w produkcji dywanów<sup>14</sup>.

Włóknina poliestrowa 3D to lekki, rozszerzalny system tekstylny 3D, który zapewnia efekt wizualny przy minimalnym zużyciu materiału. Wykonany w 100% z nietkanego poliestru, ten elastyczny materiał tekstylny może być wykorzystany w różnych mieszkalnych lub komercyjnych zastosowaniach, w których wymagana jest bogata struktura wizualna. Materiał ten sprawdzi się jako urządzenie do zaciemniania, dzielnik przestrzeni, panel do rozpraszania światła lub ekran do szybko rekonfigurowalnych przestrzeni<sup>15</sup>.



Ryc. 25. Włóknina poliestrowa 3D

Tkaniny 3D jest to obszar dosyć nowy i ciekawy, nadający się na bycie przedmiotem badań, gdyż liczba publikacji na ten temat jest znikoma. Obecnie brak jest propozycji, aby tkaninom 3D nadawać właściwości antyseptyczne, jednak w przyszłości nie można wykluczyć również takiej możliwości.

### Podsumowanie

Zebraana i opracowana wiedza, opierająca się na szerokim przeglądzie literatury, pozwoliła przedstawić wyroby włókiennicze do tej pory rzadko spotykane w praktyce kryminalistycznej, które w każdej chwili mogą pojawiać się w laboratorium jako zlecenie w konkretnej sprawie. Analizując omówione przykłady nowoczesnych wyrobów tekstylnych z grupy inteligentnych materiałów, warto zwrócić szczególną uwagę na zróżnicowaną, często niepowtarzalną ich specyfikę i nietypowe przeznaczenie. Wyroby takie jako materiał dowodowy, w postaci mikrośladów kontaktowych, mogą być ogromnym wyzwaniem dla biegłych, z uwagi na ich rodzaj, ilość

<sup>14</sup> <https://www.droog.com/project/spacer-chair-next-architects-samira-boon> (dostęp: styczeń 2019).

<sup>15</sup> <https://www.aleksandragaca.eu/> (dostęp: styczeń 2019).

i jakość, narzucając konieczność nierutynowego podejścia do nadesłanych śladów, celem ich skutecznego wykorzystania w rozwikłaniu sprawy. Wartość dowodowa przekazanych śladów kryminalistycznych w postaci pojedynczych włókien lub fragmentów tekstyliów inteligentnych może być kluczowa w prowadzonym postępowaniu karnym, z uwagi na ich nietypowe zabarwienie lub specyficzne właściwości i modyfikacje w kierunku np. personalizacji odzieży sprawcy lub ofiary przestępstwa, o czym warto pamiętać.

#### Źródła rycin:

**Ryc. 1, 4, 16, 18:** <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.

**Ryc. 2, 3:** <https://meadowbrookglitter.com/angelina-fiber>.

**Ryc. 5, 22:** Syduzzaman, M., Patwary, U., Farhana, K., Ahmed, S. (2015).

**Ryc. 6, 7, 9, 11, 12:** Grenda, M. (2016).

**Ryc. 8:** [www.schoeller-textiles.com](http://www.schoeller-textiles.com).

**Ryc. 10:** <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile>, Grenda, M. (2016).

**Ryc. 13, 14:** [Transmaterial.net](http://transmaterial.net).

**Ryc. 15:** <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile>

**Ryc. 17:** Ćwikła, 2008.

**Ryc. 19:** [Transmaterial.net](http://transmaterial.net).

**Ryc. 20–21:** Goss & Szubska, 2009.

**Ryc. 23:** <https://www.trendhunter.com/trends/freedom-of-creation>

**Ryc. 24:** <https://www.droog.com/project/spacer-chair-next-architects-samira-boon>.

**Ryc. 25:** <https://www.aleksandragaca.eu/>.

#### Bibliografia

1. Syduzzaman, M., Patwary, U., Farhana, K., Ahmed, S. (2015). *Smart Textiles and nano-technology:*

*A general overview.* "Journal of Textile Science & Engineering", 5(1).

2. Grenda, M. (2016). *Konstrukcje tkane, tkaniny konstruowane: współczesne metody wytwarzania i pozyskiwania materiałów oraz tkanin w zrównoważonym projektowaniu.* [Rozprawa doktorska, Uniwersytet Artystyczny w Poznaniu].
3. Ćwikła, A. (2008). *Medyczne zastosowania materiałów inteligentnych*, "Scientific Bulletin of Chemical Section of Technical", 1.
4. Goss J., Szubska I. (2009). *Inteligentne wyroby włókiennicze.* Politechnika Łódzka.
5. Bilisik, K. (2009). *Multiaxis 3D Woven Preform and Properties of Multiaxis 3D Woven and 3D Orthogonal Woven Carbon/Epoxy Composites.* "Journal of Plastics and Reinforced Composites" 29(8), 1173–186. <https://doi.org/10.1177/07316844091031>.
6. Campbell, F. C. (2004). *Manufacturing Processes for Advanced Composites.* Elsevier.

#### Strony internetowe:

1. <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.
2. <https://meadowbrookglitter.com/angelina-fiber>.
3. <https://www.droog.com/project/spacer-chair-next-architects-samira-boon> (dostęp: styczeń 2019).
4. <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile>.
5. [transmaterial.net](http://transmaterial.net).
6. <http://www.designfutures.pl/> (dostęp: grudzień 2018).
7. <https://www.3dsystems.com/> (dostęp: styczeń 2019).
8. <https://www.trendhunter.com/trends/freedom-of-creation>.
9. <https://www.aleksandragaca.eu/> (dostęp: styczeń 2019).